

マルチエージェント津波避難シミュレーションの高速化と市街地スケール計算での評価

牧野嶋 文泰[†] 今村 文彦[‡]

東北大学 大学院[†] 東北大学 災害科学国際研究所[‡]

1. はじめに

津波避難シミュレーションは避難行動に関わる要因を定量的に評価することを可能にするツールであり、次世代の避難計画策定ツールとして注目され、活用が進んでいる[1]。さらに、もしこの高速計算が可能だとすれば、近年活用の議論が進んでいる人の位置情報データ等[2]を、リアルタイムに活用することで、避難誘導や避難場所の避難者人数の即時推定などの新たな災害対応技術の開発に貢献できる可能性がある。本稿では、筆者らが開発を進めているマルチエージェント津波避難シミュレーション[3]に対して MPI を用いた簡便な並列計算手法を実装し、実地市街地スケール計算におけるパフォーマンスを検討した結果を報告する。

2. マルチエージェント避難シミュレーションの高速計算

避難行動の高速計算を実現する主な方策として、モデルの単純化[4]、並列計算による高速化[5]の2つが考えられるが、本研究では二次元連続空間モデルの避難行動計算を後者の手法で高速化することを考える。避難行動シミュレーションは、避難場所というある一点に多くの人が集中する現象を計算するため、Lagrange 的計算の並列化によく用いられる空間分割法により並列化を検討した場合には、プロセス間が1対1通信で済む代わりに、並列計算のパフォーマンス低下を防ぐためにメッシュ再構築などの負荷分散機構が必要になる。それに対し、本研究では、避難者に仮想の ID を割り振り、各 MPI プロセスが担当する避難者人数が等しくなるように ID を振り分けて並列化することを考えた。(以下、仮想 ID 法と呼ぶ) この並列化方法は全体通信を必要としたが、実装が簡便でありながら、特別な負荷分散機構を取り入れなくても並列化の効果が見込めたため、この方法を採用した。

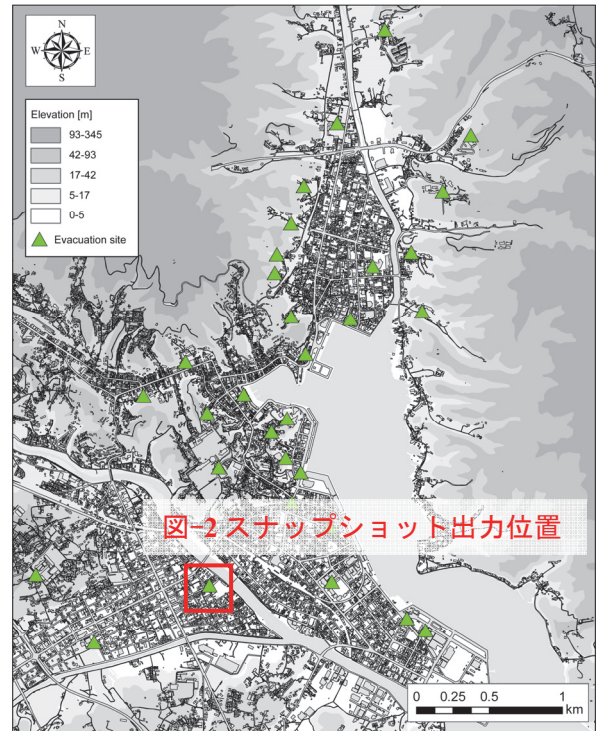


図-1 計算対象地域

3. 実地適用による評価

簡便な並列化方法である仮想 ID 法が実際の市街地スケール避難行動計算においてどれほどの性能を持つのか確認した。対象としたのは図-1に示した東日本大震災で大きな津波被害を受けた宮城県気仙沼市の中央部 $4 \times 5 \text{ km}^2$ のエリアである。ここに震災の実態に基づいて図中緑色で示した避難場所を設定し、H22 国政調査に基づいた行政区別の昼間人口に基づき 25869 エージェントの避難行動計算を行った。計算では 65 歳以上の高齢者を健常者の移動速度 ($1.34 \pm 0.26 \text{ m/s}$) の半分で考えることで考慮している。エージェントは地震発生 5 分後に一斉避難を行い、最寄りの避難場所に最短経路で避難する。開発したモデルは Social Force モデル[6]をベースにしており、これを時間刻み幅 $dt = 0.01 \text{ s}$ で 1 時間分の避難行動を計算した。計算は、1 ノードあたり Intel® Xeon E5-2690 v2 が 2 基搭載されたものが Infiniband で接続されている並列計算機上で行った。本検討で使用した MPI は OpenMPI-1.6.4 である。

Parallel Computing of Multiagent Tsunami Evacuation Simulation and its Performance in Urban-Scale Calculation
Fumiyasu Makinoshima[†], Fumihiko Imamura[‡]
[†] Graduate School of Engineering, Tohoku University
[‡] International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

4. 評価結果

図-1 中に赤枠で示した避難場所の避難開始 5 分後のスナップショットを図-2 に示す. 並列計算により市街地スケールでも, 避難者の追い越し, 回避といった微視的な避難行動を計算することが可能である. また, 本システムでは図-3 に示したように津波数値計算結果を読み込み, 避難行動計算と重ね合わせることで, 避難者の津波暴露リスクを定量的に評価することが可能になっている. こうした可視化は住民の防災意識を高めるために有用であると考えられる.

図-4 に本稿の検討条件における Flat MPI による並列計算のパフォーマンスを示す. なお, この計測時間には, 図-3 に示した津波数値計算結果の読み込み以外の I/O は含まれていない. 今回の実装では, 100 プロセス以上でリアルタイム, また対象地域の東日本大震災の津波到達前に計算を完了することができたが, 300 プロセス程度で通信コストの増大により更なる高速化が難しいことも分かった.

5. おわりに

本稿では, マルチエージェント津波避難シミュレーションを簡便な並列化手法である仮想 ID 法によって並列化し, 実地市街地スケール計算において, その実行パフォーマンスを確認した.

仮想 ID 法は簡単な実装であるが, ある程度の並列計算の効果を得ることができ, 本稿の検討では 100 プロセス以上でリアルタイム計算が可能であった. 簡便な手法ゆえ, プロセス数の増加に伴い通信コストが増大し, パフォーマンスは低下する, 適用規模が限られるなどの問題があるが, 開発コストを考慮すると, マルチエージェント避難シミュレーションの並列化においては, 有効な手法の一つと考えられる.

計算速度については, 検討モデルが周囲の避難者の探索に $O(N^2)$ の手法を用いているため, この点を改善するほか, 本検討のプロファイリング結果から OpenMP とのハイブリッド並列により更なる高速化を見込むことができるため, この検討を進めていくのはもちろん, マルチシナリオ計算や, 新しい災害対応技術開発などの高速計算を社会の減災に生かしていく手法を同時に検討・構築していくことが今後の課題である.

参考文献

- [1] 仙台市 津波避難施設の整備に関する検討委員会, <https://www.city.sendai.jp/hinan/shise/security/kokai/fuzoku/kyogikai/tsunami.html> (2016/11/18 アクセス)
- [2] 矢部貴大, 関本義秀, 榎山武浩, 金杉洋, 須藤明人, "パーティクルフィルタを用いた災害時における

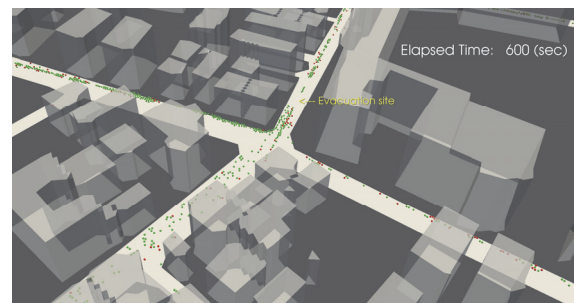


図-2 避難シミュレーションスナップショット

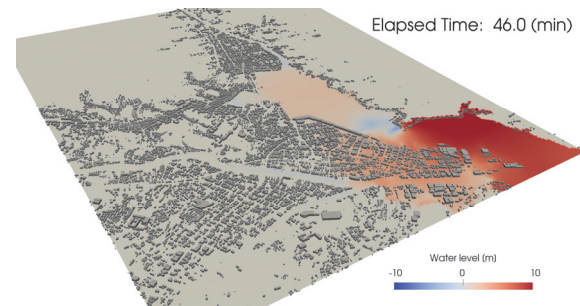


図-3 津波シミュレーションの重ね合わせ

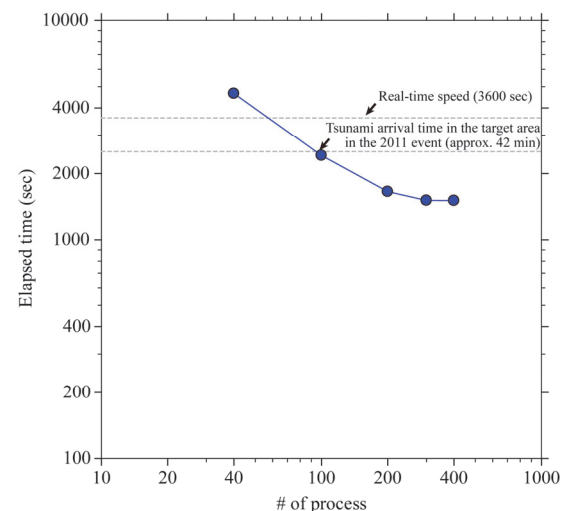


図-4 Flat MPI での実行パフォーマンス

リアルタイムな人流推定手法”, 交通工学論文集 2(2), A_19-A_27, 2016.

- [3] 牧野嶋文泰, 今村文彦, 安倍祥, "ポテンシャル場と Social Force モデルを用いた群衆避難行動の検討”, 東北地域災害科学研究, 第 52 巻, pp.223-228, 2016.
- [4] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹, "一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用”, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, 1732-1744, 2012.
- [5] Wijarathne, M.L.L., Melgar, L.A., Hori, M., Ichimura, T., Tanaka, S., "HPC Enhanced Large Large Urban Area Evacuation Simulations with Vision based Autonomously Navigating Multi Agents”, *Procedia Computer Science*, Vol.18, pp.1515-1524, 2013.
- [6] Karamouzas, I., Skinner, B., Stephen, J.G., "Universal Power Law Governing Pedestrian Interaction”, *Phys. Rev. Lett.* 113, 2014.